

# *SiC*ILIA

Silicon Carbide Detectors for Intense  
Luminosity Investigations and  
Applications



## SiCILIA

### *Silicon Carbide Detectors for Intense Luminosity Investigations and Applications*

Progetto finanziato dalla CSN5 dell'INFN

Partecipano alcune Sezioni INFN, IMM-CNR (Institute for Microelectronics and Microsensors), STMicroelectronics, FBK

- Sviluppare processi per la produzione di sistemi di rivelazione a SiC



### SiCILIA



### *Silicon Carbide Detectors for Intense Luminosity Investigations and Applications*

Progetto finanziato dalla CSN5 dell'INFN

Partecipano alcune Sezioni INFN, IMM-CNR (Institute for Microelectronics and Microsensors), STMicroelectronics, FBK

- Sviluppare processi per la produzione di sistemi di rivelazione a SiC → caratteristiche dei rivelatori a Si (risoluzione, efficienza, linearità, compattezza) più:
  - maggiore resistenza al danno da radiazione (*radiation hardness*)
  - maggiore stabilità termica
  - insensibilità alla luce visibile
  - maggiore velocità di saturazione dei portatori, tensione di breakdown più alta

### SiCILIA



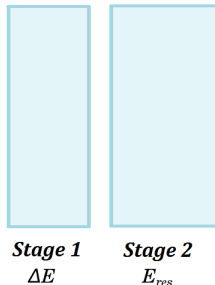
### *Silicon Carbide Detectors for Intense Luminosity Investigations and Applications*

Progetto finanziato dalla CSN5 dell'INFN

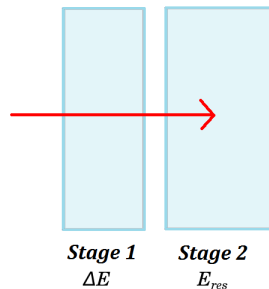
Partecipano alcune Sezioni INFN, IMM-CNR (Institute for Microelectronics and Microsensors), STMicroelectronics, FBK

- Sviluppare processi per la produzione di sistemi di rivelazione a SiC → caratteristiche dei rivelatori a Si (risoluzione, efficienza, linearità, compattezza) più:
  - maggiore resistenza al danno da radiazione (*radiation hardness*)
  - maggiore stabilità termica
  - insensibilità alla luce visibile
  - maggiore velocità di saturazione dei portatori, tensione di breakdown più alta
- SiCILIA nasce per rispondere alle richieste di due esperimenti:
  - **NUMEN** (**N**uclear **M**atrix **E**lements of **N**eutrinoless Double Beta Decay by Heavy-Ion Double Charge Exchange Reactions)
  - **NRLP** (**N**uclear **R**eaction studies in **L**aser **P**lasmas)

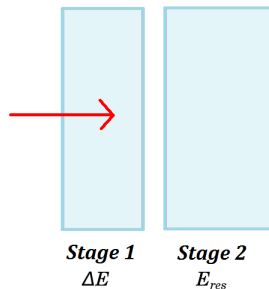
- La Sezione di Firenze partecipa al progetto SiCILIA. Le attività previste sono:
  - Caratterizzazione dei prototipi, inclusi test dei prototipi con sorgenti radioattive
  - Realizzazione di telescopi  $\Delta E - E$  con i primi prototipi SiC e primi test sotto fascio
- Identificazione di frammenti nucleari mediante due tecniche:



- La Sezione di Firenze partecipa al progetto SiCILIA. Le attività previste sono:
  - Caratterizzazione dei prototipi, inclusi test dei prototipi con sorgenti radioattive
  - Realizzazione di telescopi  $\Delta E - E$  con i primi prototipi SiC e primi test sotto fascio
- Identificazione di frammenti nucleari mediante due tecniche:
  - Tecnica  $\Delta E - E \rightarrow$  frammenti che si fermano nel secondo stadio



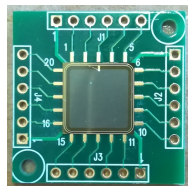
- La Sezione di Firenze partecipa al progetto SiCILIA. Le attività previste sono:
  - Caratterizzazione dei prototipi, inclusi test dei prototipi con sorgenti radioattive
  - Realizzazione di telescopi  $\Delta E - E$  con i primi prototipi SiC e primi test sotto fascio
- Identificazione di frammenti nucleari mediante due tecniche:
  - Tecnica  $\Delta E - E \rightarrow$  frammenti che si fermano nel secondo stadio
  - Metodi di discriminazione di forma (Pulse Shape Discrimination, PSD) del segnale di carica (energia vs. rise time) o del segnale di corrente (energia vs. massimo del segnale di corrente)  $\rightarrow$  frammenti che si fermano nel primo stadio



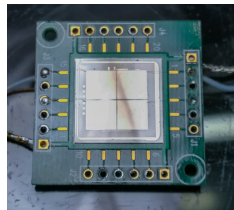
- Tipologie di rivelatore SiC prese in esame a Firenze:
  - Prototipi vecchia generazione: diodi Schottky, epilayer  $n^-$   $37 \mu\text{m}$  su substrato  $279 \mu\text{m}$ ,  $N_D = 4.8 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ , area attiva  $1 \times 1 \text{mm}^2$
  - Prototipi nuova generazione: giunzione p/n, epilayer  $n^-$   $10 \mu\text{m}$  su substrato  $100 \mu\text{m}$ ,  $N_D = 5 \div 8 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ , area attiva  $10 \times 10 \text{mm}^2$



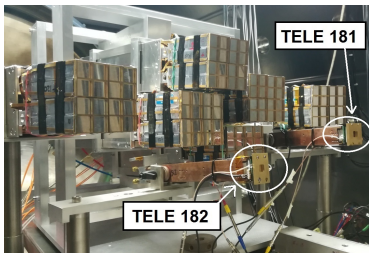
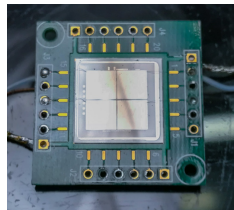
- Tipologie di rivelatore SiC prese in esame a Firenze:
  - Prototipi vecchia generazione: diodi Schottky, epilayer  $n^-$   $37\ \mu\text{m}$  su substrato  $279\ \mu\text{m}$ ,  $N_D = 4.8 \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$ , area attiva  $1 \times 1\ \text{mm}^2$
  - Prototipi nuova generazione: giunzione p/n, epilayer  $n^-$   $10\ \mu\text{m}$  su substrato  $100\ \mu\text{m}$ ,  $N_D = 5 \div 8 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ , area attiva  $10 \times 10\ \text{mm}^2$
- Nella prima fase del lavoro ci siamo occupati di caratterizzare i primi prototipi di nuova generazione:
  - Profili I-V e C-V, prodotti alla probe station della Sez. di Firenze
  - Risposta a particelle  $\alpha$  di  $^{241}\text{Am}$ , studiata in una camera a vuoto appositamente assemblata. I segnali sono stati digitalizzati e processati offline in ambiente ROOT.
- Il confronto tra i risultati ottenuti con i rivelatori di nuova e di vecchia generazione ha evidenziato un miglioramento delle caratteristiche:
  - corrente di buio più bassa  $\leftrightarrow$  minor concentrazione di difetti
  - tensione di svuotamento più bassa  $\leftrightarrow$  concentrazione di drogaggio più bassa
- Articolo sottomesso alla rivista *Sensors* (attualmente in seconda fase di peer review)



- Per la costruzione dei telescopi è stato sfruttato un nuovo prototipo SiC:
  - epilayer  $n^-$  spesso  $100\ \mu\text{m}$  su substrato di  $300\ \mu\text{m}$
  - area attiva di  $10 \times 10\ \text{mm}^2$ , suddivisa in 4 pad
  - $N_D = 5 \div 8 \times 10^{13}\ \text{cm}^{-3}$



- Per la costruzione dei telescopi è stato sfruttato un nuovo prototipo SiC:
  - epilayer  $n^-$  spesso  $100\ \mu\text{m}$  su substrato di  $300\ \mu\text{m}$
  - area attiva di  $10 \times 10\ \text{mm}^2$ , suddivisa in 4 pad
  - $N_D = 5 \div 8 \times 10^{13}\ \text{cm}^{-3}$

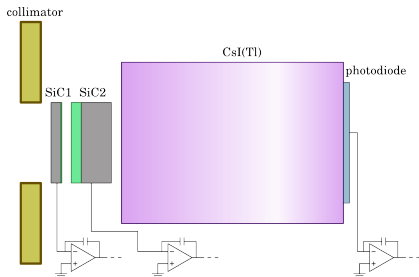


- Per studiare le performance dei prototipi SiC per l'identificazione dei frammenti nucleari sono stati eseguiti due test sotto fascio (febbraio e maggio 2018) nella camera di scattering CICLOPE presso i LNS (Catania)
- Tre diverse configurazioni per i telescopi, posizionati a  $8^\circ$  rispetto all'asse del fascio

- Reazioni impiegate:  $^{40,48}\text{Ca} + ^{12}\text{C}$  a  $25\text{MeV/n}$  e  $40\text{MeV/n}$

# Identificazione di frammenti nucleari

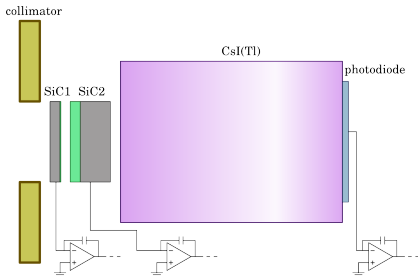
Telescopio 181



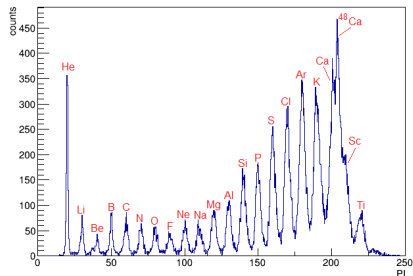
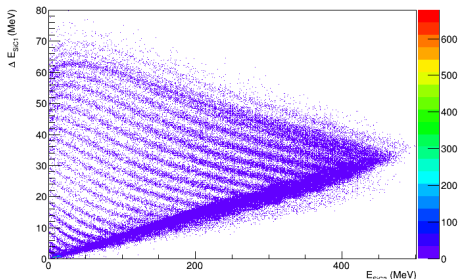
- Telescopio a 3 stadi: SiC1 ( $10 \mu\text{m}$ ,  $\Delta E$ ), SiC2 ( $100 \mu\text{m}$ ,  $E$ ), CsI(Tl) (veto punch through)

# Identificazione di frammenti nucleari

Telescopio 181

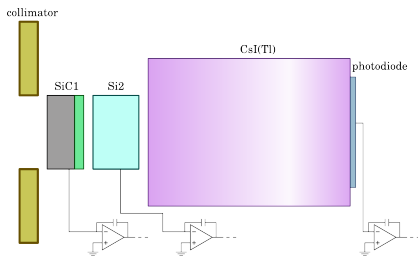


- Telescopio a 3 stadi: SiC1 ( $10 \mu\text{m}$ ,  $\Delta E$ ), SiC2 ( $100 \mu\text{m}$ ,  $E$ ), CsI(Tl) (veto punch through)
- Buona separazione tra diversi elementi, non si ottiene separazione isotopica  $\rightarrow$  limite fisico dato dallo straggling energetico nello stadio  $\Delta E$

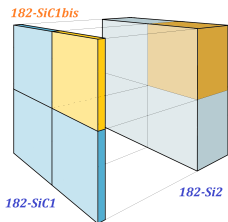


# Identificazione di frammenti nucleari

## Telescopio 182 (I)

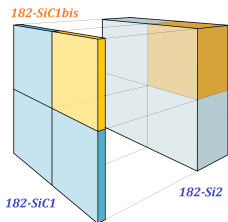
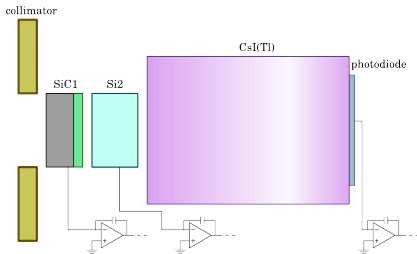


- Telescopio a 3 stadi: SiC1 ( $100 \mu\text{m}$ ,  $\Delta E$ ), Si2 ( $500 \mu\text{m}$ ,  $E$ ), CsI(Tl) (veto punch through)
- Il primo stadio ha un pad connesso a parte poich  presenta un'alta corrente inversa (SiC1bis)  $\rightarrow$  si studiano due telescopi separati

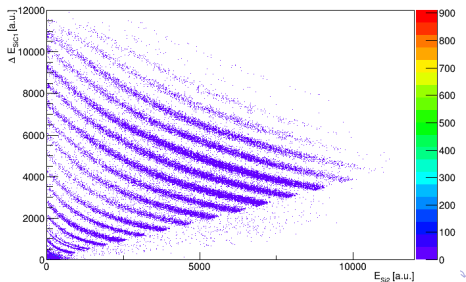


# Identificazione di frammenti nucleari

Telescopio 182 (I)

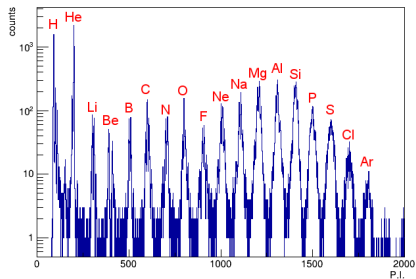


- Telescopio a 3 stadi: SiC1 ( $100\ \mu\text{m}$ ,  $\Delta E$ ), Si2 ( $500\ \mu\text{m}$ ,  $E$ ), CsI(Tl) (veto punch through)
- Il primo stadio ha un pad connesso a parte poich  presenta un'alta corrente inversa (SiC1bis)  $\rightarrow$  si studiano due telescopi separati
- Ottima separazione tra i diversi elementi

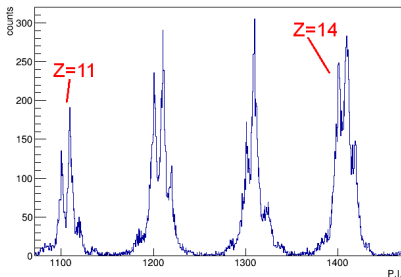
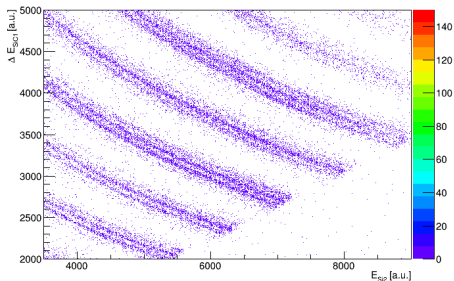


# Identificazione di frammenti nucleari

Telescopio 182 (II)



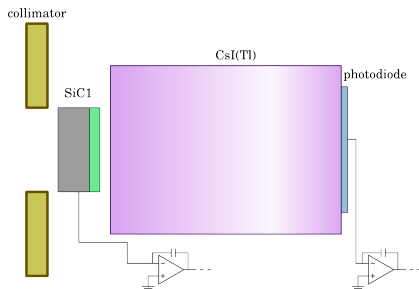
- Si osserva una buona separazione isotopica fino agli isotopi del Silicio ( $Z = 14$ )
- Risultati analoghi anche sul telescopio selezionato dal pad SiC1bis





# Identificazione di frammenti nucleari

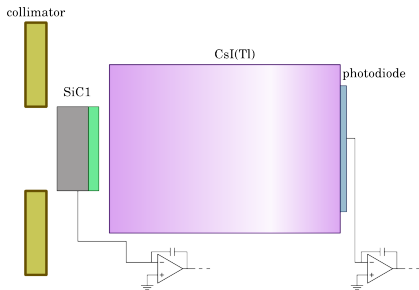
Telescopio 183



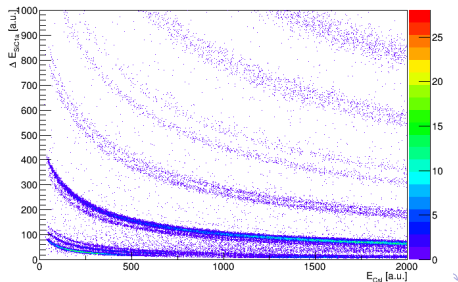
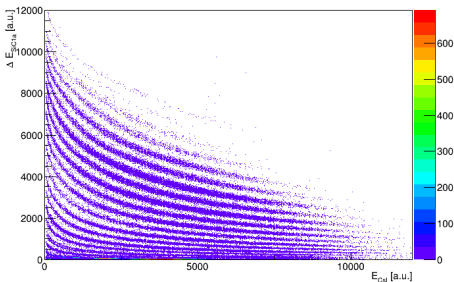
- Telescopio a 2 stadi: SiC1 ( $100 \mu\text{m}$ ,  $\Delta E$ ), CsI(Tl) (10 cm,  $E$ )
- Il primo stadio ha i pad connessi a coppie (SiC1a, SiC1b)  $\rightarrow$  si studiano due telescopi separati

# Identificazione di frammenti nucleari

Telescopio 183



- Telescopio a 2 stadi: SiC1 ( $100 \mu\text{m}$ ,  $\Delta E$ ), CsI(Tl) ( $10 \text{ cm}$ ,  $E$ )
- Il primo stadio ha i pad connessi a coppie (SiC1a, SiC1b)  $\rightarrow$  si studiano due telescopi separati
- Buona separazione tra i diversi elementi, separazione isotopica fino a  $Z = 4$



# Identificazione di frammenti nucleari

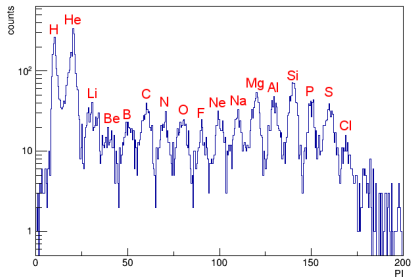
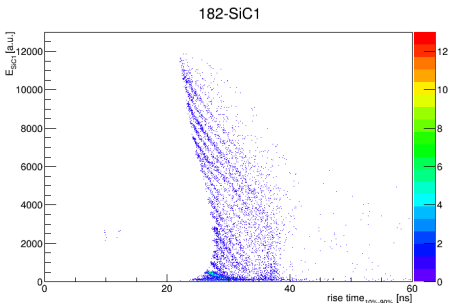
## Pulse Shape Analysis

- Metodi di analisi di forma applicati a particelle che si fermano nel rivelatore
- Prendiamo in analisi i rivelatori “reverse mounted” [Le Neindre et al., NIM A 701 (2013) 145-152]

# Identificazione di frammenti nucleari

## Pulse Shape Analysis

- Metodi di analisi di forma applicati a particelle che si fermano nel rivelatore
- Prendiamo in analisi i rivelatori “reverse mounted” [Le Neindre et al., NIM A 701 (2013) 145-152]



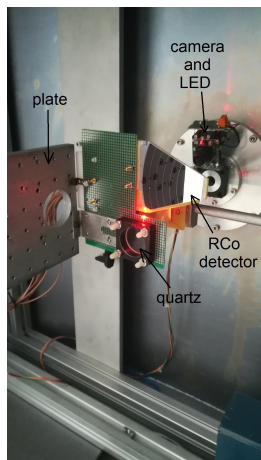
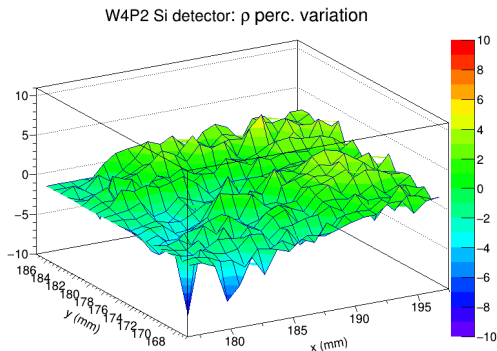
- Es. 182SiC1, energia vs. rise time 10%-90%: buona separazione tra gli elementi
- Stiamo analizzando la possibilità di sfruttare il segnale di corrente per l'identificazione (plot energia vs. massimo del segnale di corrente)

# Mappe di resistività

- Per il successo delle tecniche di PSD la forma del segnale deve dipendere solo da  $(Z, A)$  del frammento → **necessaria uniformità di drogaggio del rivelatore**

# Mappe di resistività

- Per il successo delle tecniche di PSD la forma del segnale deve dipendere solo da  $(Z, A)$  del frammento → necessaria uniformità di drogaggio del rivelatore
- Sviluppo di un setup per mappare la resistività di rivelatori a semiconduttore (DEFEL, LaBeC) → provato su rivelatori in silicio di caratteristiche note con risultati ragionevoli



# Conclusioni

## Situazione attuale e sviluppi futuri

- I tre telescopi  $\Delta E - E$  assemblati hanno dato buoni risultati in termini di identificazione di frammenti nucleari
- Si tratta della prima applicazione di rivelatori SiC all'identificazione di frammenti sia con tecnica  $\Delta E - E$  che PSD
- È attualmente in stesura un articolo sui risultati appena presentati, da sottomettere a *NIM A* entro la fine di agosto
- Prossimi sviluppi:
  - Ulteriori studi sulle tecniche di Pulse Shape Analysis, approfondimento dello studio dei segnali di corrente
  - Mappa di resistività su rivelatori SiC senza substrato
  - Studio della resistenza al danno da radiazione
  - Studio dei nuovi prototipi SiC realizzati partendo da un wafer di SiC intrinseco
  - Sviluppo di una elettronica dedicata

Grazie  
per l'attenzione

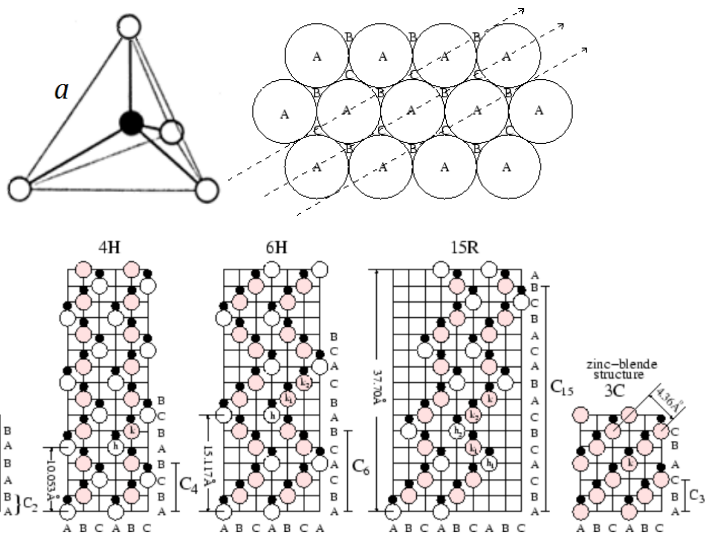


# Backup slides

# Caratteristiche del carburo di silicio

# Caratteristiche del SiC

## Politipismo del SiC



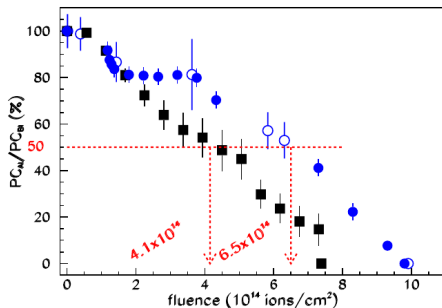
# Caratteristiche del SiC

## Proprietà elettriche

	Si	4H-SiC	6H-SiC	3C-SiC
Density $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.329	3.211	3.21	3.21
Energy gap $E_g$ (eV)	1.12	3.26	3.03	2.4
Relative dielectric constant $\epsilon_r$	11.9	9.7	9.66	9.72
Thermal conductivity $\kappa$ (W/cm K)	1.31	4.9	4.9	3.2
Electron mobility $\mu_e$ (cm <sup>2</sup> /V s)	1430	900 ( $\parallel c$ -axis) 800 ( $\perp c$ -axis)	60 ( $\parallel c$ -axis) 400 ( $\perp c$ -axis)	800
Hole mobility $\mu_h$ (cm <sup>2</sup> /V s)	480	115	90	40
Saturated e velocity $v_s$ (cm/s)	$1 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$2.5 \cdot 10^7$
Breakdown field $E_B$ (MV/cm)	0.3	3.0 ( $\parallel c$ -axis)	3.2 ( $\parallel c$ -axis) >1 ( $\perp c$ -axis)	>1.5

# Caratteristiche del SiC

Resistenza al danno da radiazione

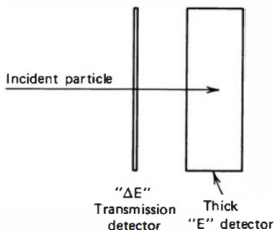


Ratio of the centroid of the peak of the  $^{16}\text{O}$  energy spectrum after irradiation ( $PC_A$ ) to that before irradiation ( $PC_B$ ) as a function of the  $^{16}\text{O}$  fluence  
[Raciti et al., Nucl. Phys. A 834(2010) 784c-787c]

# Identificazione di frammenti

# Metodi di identificazione di ioni

Tecnica  $\Delta E - E$

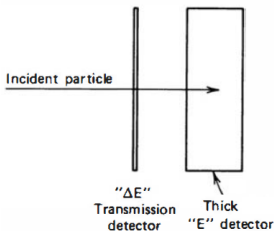


- La tecnica  $\Delta E - E$  è basata sul meccanismo di dissipazione dell'energia cinetica di particelle cariche nella materia  $\rightarrow$  Bethe-Bloch

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 Z^2}{m_e v^2} N z \left[ \ln \frac{2m_e v^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

# Metodi di identificazione di ioni

Tecnica  $\Delta E - E$

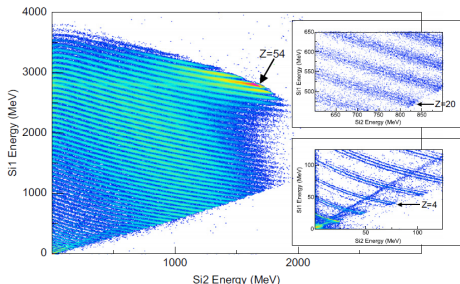


- La tecnica  $\Delta E - E$  è basata sul meccanismo di dissipazione dell'energia cinetica di particelle cariche nella materia  $\rightarrow$  Bethe-Bloch

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 Z^2}{m_e v^2} N Z \left[ \ln \frac{2m_e v^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

- se non relativistico:  $\Delta E \propto \frac{Z^2}{v^2} \cdot \Delta x \propto \frac{Z^2 A}{E_0} \cdot \Delta x$

- Vale dunque  $\Delta E \cdot E_0 = kZ^2 A$
- Grafico di correlazione  $\Delta E - E$ : istogramma bidimensionale in cui sono riportate  $\Delta E$  (primo stadio) vs.  $E$  (secondo stadio)
- Identificazione possibile per particelle che si fermano nel secondo stadio





# Metodi di identificazione di ioni

## Tecniche di Pulse Shape Discrimination (PSD)

- I metodi di PSD, usati **per particelle che si fermano nel rivelatore**, si basano sulla dipendenza della forma del segnale dalla densità di ionizzazione lungo la traccia della particella incidente
- La densità di ionizzazione dipende da  $(Z, A)$  ed energia della particella incidente:
  - Ioni pesanti  $\rightarrow$  *tempo di plasma+tempo di transito*
  - Ioni leggeri  $\rightarrow$  *tempo di transito*

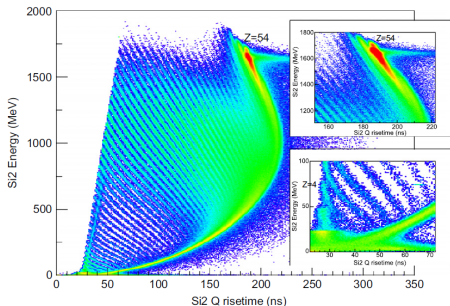
# Metodi di identificazione di ioni

## Tecniche di Pulse Shape Discrimination (PSD)

- I metodi di PSD, usati **per particelle che si fermano nel rivelatore**, si basano sulla dipendenza della forma del segnale dalla densità di ionizzazione lungo la traccia della particella incidente
- La densità di ionizzazione dipende da  $(Z, A)$  ed energia della particella incidente:
  - Ioni pesanti  $\rightarrow$  *tempo di plasma+tempo di transito*
  - Ioni leggeri  $\rightarrow$  *tempo di transito*
- Catena con preamplificatore di carica  $\rightarrow$  tempo di raccolta legato a rise-time

$\rightarrow$  Energia vs. rise-time segnale di carica

- Rivelatore in “reverse mounting”  
[Le Neindre et al., NIM A 701(2013) 145-152]
- Soglia di energia per identificazione minore rispetto a tecnica  $\Delta E - E$



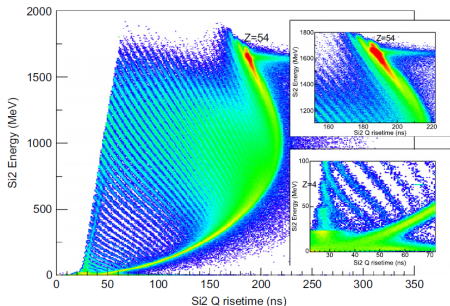
# Metodi di identificazione di ioni

## Tecniche di Pulse Shape Discrimination (PSD)

- I metodi di PSD, usati **per particelle che si fermano nel rivelatore**, si basano sulla dipendenza della forma del segnale dalla densità di ionizzazione lungo la traccia della particella incidente
- La densità di ionizzazione dipende da  $(Z, A)$  ed energia della particella incidente:
  - Ioni pesanti  $\rightarrow$  *tempo di plasma+tempo di transito*
  - Ioni leggeri  $\rightarrow$  *tempo di transito*
- Catena con preamplificatore di carica  $\rightarrow$  tempo di raccolta legato a rise-time

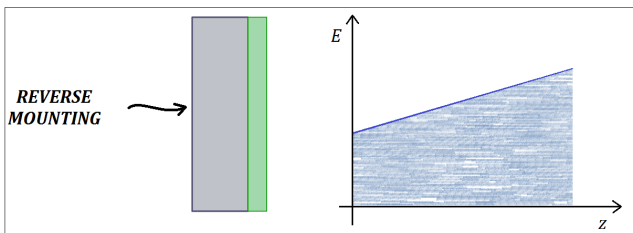
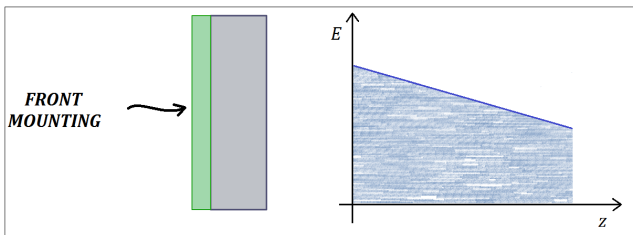
$\rightarrow$  Energia vs. rise-time segnale di carica

- Rivelatore in “reverse mounting”  
[Le Neindre et al., NIM A 701(2013) 145-152]
- Soglia di energia per identificazione minore rispetto a tecnica  $\Delta E - E$
- **La forma del segnale deve dipendere solo da  $(Z, A)$  ed energia del frammento!**  $\rightarrow$  necessaria uniformità di drogaggio del rivelatore



# Tecnica PSD

## Front mounting e reverse mounting



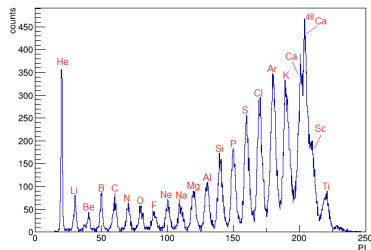
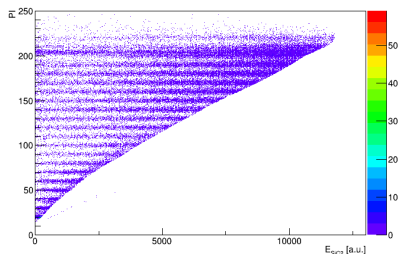
Ione con alto  $Z$ :  
produce traccia più  
densa e più corta



Se entra dal lato di  
campo debole la traccia  
si trova nella zona in cui  
il campo elettrico è più  
basso, il che rallenta  
ulteriormente la raccolta

# Telescopio 181

Linearizzazione delle correlazioni  $\Delta E - E$



- Procedura di linearizzazione:

- Si disegnano manualmente *Z-lines*, a cui si assegna un valore  $PI = Z \times 10$
- A ogni evento è assegnato un valore  $PI$ , sulla base della distanza dalle *Z-lines* più vicine
- $PI - E$  plot  $\rightarrow$  integrato su  $E$
- Separazione  $\rightarrow$  *Figure of Merit*:

$$FoM = \frac{|PI_2 - PI_1|}{(FWHM_1 + FWHM_2)}$$

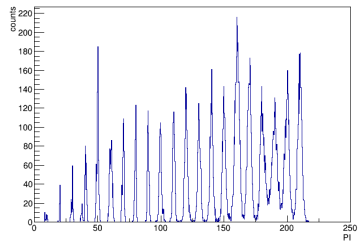
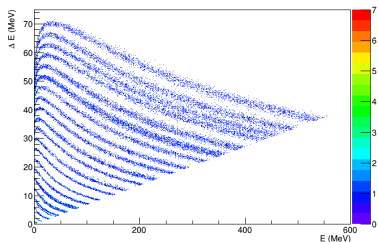
$FoM \geq 0.7 \Rightarrow$  buona separazione

Elem.	FoM(exp.)	Elem.	FoM(exp.)
He-Li	3.3	Mg-Al	1.2
Be-B	2.1	S-Cl	1.0
C-N	1.4	K-Ca	0.9

# Telescopio 181

## Straggling energetico

- Non c'è separazione isotopica → **straggling nel SiC spesso 10  $\mu\text{m}$**
- Straggling regime di Bohr:  
$$\sigma_{Bohr}^2 = 4\pi e^4 N Z^2 Z \Delta x \Rightarrow \sigma_{Bohr} \propto \sqrt{\Delta x}$$
- Separazione in  $\Delta E$  tra due elementi:  
$$\delta(\Delta E) \propto \frac{(Z_2^2 A_2 - Z_1^2 A_1)}{E} \cdot \Delta x$$
- $\delta(\Delta E)/\sigma_{Bohr} \propto \sqrt{\Delta x} \Rightarrow$  **peggiore separazione se  $\Delta E$  sottile**
- Simulazione con energy straggling



Elem.	FoM(exp.)	FoM(sim.)
He-Li	3.3	6.8
Be-B	2.1	2.8
C-N	1.4	2.0
Mg-Al	1.2	1.7
S-Cl	1.0	1.2
K-Ca	0.9	1.0

# Mappe di resistività

# Mappe di resistività

Principio base della misura (I)

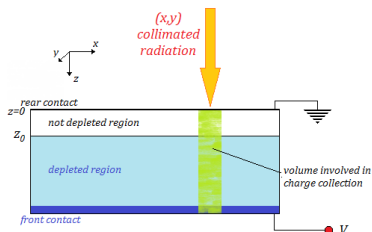
- Andamento resistività ( $\rho \propto 1/N$ ) vs. posizione  $(x, y) \rightarrow$  uniformità  $N$
- Resistività  $\longleftrightarrow$  tensione di svuotamento:  $\rho(x, y) = \frac{d^2}{2 V_d(x, y) \epsilon \mu}$
- La valutazione di  $V_d(x, y)$  permette di ricostruire una mappa della resistività del materiale  $\rightarrow$  valutare uniformità di drogaggio



# Mappe di resistività

## Principio base della misura (I)

- Andamento resistività ( $\rho \propto 1/N$ ) vs. posizione  $(x, y) \rightarrow$  uniformità  $N$
- Resistività  $\longleftrightarrow$  tensione di svuotamento:  $\rho(x, y) = \frac{d^2}{2V_d(x, y) \epsilon \mu}$
- La valutazione di  $V_d(x, y)$  permette di ricostruire una mappa della resistività del materiale  $\rightarrow$  valutare uniformità di drogaggio

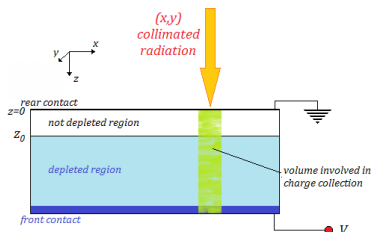


- La radiazione collimata (corto range) entra dal lato rear (lato di campo debole);
- Coppie e-h vicino al contatto bloccante;
- Bulk tipo  $n$ : il segnale è dovuto principalmente al moto delle lacune verso l'elettrodo  $p^+$  (front), che attraversano prima la regione non svuotata e poi quella svuotata.

# Mappe di resistività

## Principio base della misura (I)

- Andamento resistività ( $\rho \propto 1/N$ ) vs. posizione  $(x, y) \rightarrow$  uniformità  $N$
- Resistività  $\longleftrightarrow$  tensione di svuotamento:  $\rho(x, y) = \frac{d^2}{2V_d(x, y) \epsilon \mu}$
- La valutazione di  $V_d(x, y)$  permette di ricostruire una mappa della resistività del materiale  $\rightarrow$  valutare uniformità di drogaggio



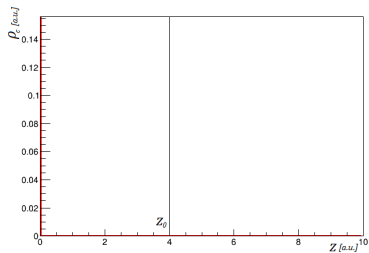
- La radiazione collimata (corto range) entra dal lato rear (lato di campo debole);
- Coppie e-h vicino al contatto bloccante;
- Bulk tipo  $n$ : il segnale è dovuto principalmente al moto delle lacune verso l'elettrodo  $p^+$  (front), che attraversano prima la regione non svuotata e poi quella svuotata.

- Il segnale è il risultato dei due contributi:
  - Componente **lenta**: moto di diffusione nella zona non svuotata (campo elettrico nullo)
  - Componente **veloce**: drift nella zona svuotata, sottoposta a campo elettrico

# Mappe di resistività

## Principio base della misura (II)

- A  $t = 0$ ,  $\rho_c$  delta di Dirac in  $z = 0$



# Mappe di resistività

## Principio base della misura (II)

- A  $t = 0$ ,  $\rho_c$  delta di Dirac in  $z = 0$
- Per il moto di diffusione:

$$\rho_c(z, t) = \begin{cases} 0 & \text{for } z < 0 \\ \frac{2Q_0}{\sigma_D \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma_D^2}} & \text{for } z \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{con } \sigma_D = \sqrt{2Dt}$$

# Mappe di resistività

## Principio base della misura (II)

- A  $t = 0$ ,  $\rho_c$  delta di Dirac in  $z = 0$
- Per il moto di diffusione:

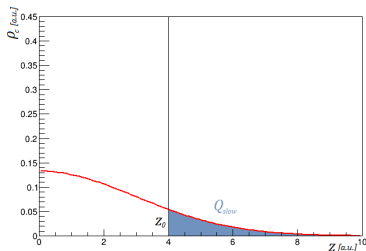
$$\rho_c(z, t) = \begin{cases} 0 & \text{for } z < 0 \\ \frac{2Q_0}{\sigma_D \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma_D^2}} & \text{for } z \geq 0 \end{cases}$$

$$\text{con } \sigma_D = \sqrt{2Dt}$$

- Componente lenta:  $Q_{slow}(t) = \int_{z_0}^{\infty} \rho_c(z, t) dz = Q_0 \left[ 1 - \text{erf}\left(\frac{z_0}{2\sqrt{Dt}}\right) \right]$
- Da cui si ricava il rise-time 10%-90% risolvendo:

$$Q_{slow}(t_{90\%}) = \frac{9}{10} Q_0 \quad \Rightarrow \quad t_{90\%} = \frac{z_0^2}{4D[\text{erf}^{-1}(0.1)]^2}$$

$$Q_{slow}(t_{10\%}) = \frac{1}{10} Q_0 \quad \Rightarrow \quad t_{10\%} = \frac{z_0^2}{4D[\text{erf}^{-1}(0.9)]^2}$$



# Mappe di resistività

## Principio base della misura (III)

- $t_{rise10-90\%,slow} \propto z_0^2$  per  $V < V_d$ , dove  $z_0 = d - w$   $\Rightarrow$   
 $t_{rise10-90\%,slow} \propto (\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2$

# Mappe di resistività

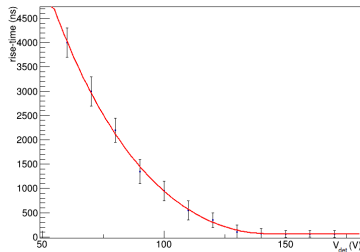
## Principio base della misura (III)

- $t_{rise10-90\%,slow} \propto z_0^2$  per  $V < V_d$ , dove  $z_0 = d - w$   $\Rightarrow$   
 $t_{rise10-90\%,slow} \propto (\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2$

- È possibile esprimere il rise time del segnale come:

$$t_{rise}(V) = \begin{cases} t_0 + a(\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2 & \text{for } V < V_d \\ t_0 & \text{for } V > V_d \end{cases}$$

[da Bardelli et al., NIM A 602(2009) 501-505]



# Mappe di resistività

## Principio base della misura (III)

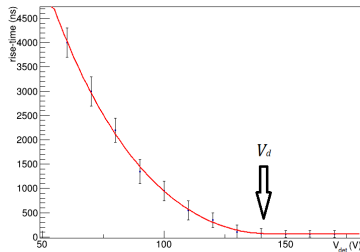
- $t_{rise10-90\%,slow} \propto z_0^2$  per  $V < V_d$ , dove  $z_0 = d - w$   $\Rightarrow$   
 $t_{rise10-90\%,slow} \propto (\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2$

- È possibile esprimere il rise time del segnale come:

$$t_{rise}(V) = \begin{cases} t_0 + a(\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2 & \text{for } V < V_d \\ t_0 & \text{for } V > V_d \end{cases}$$

[da Bardelli et al., NIM A 602(2009) 501-505]

- Dal fit sui dati per ogni posizione si ricava  $V_d(x, y)$  e quindi la resistività  $\rho(x, y)$





# Mappe di resistività

## Principio base della misura (III)

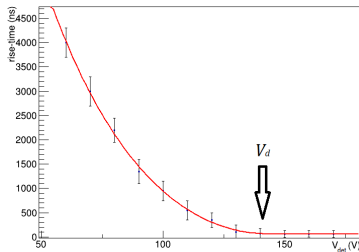
- $t_{rise10-90\%,slow} \propto z_0^2$  per  $V < V_d$ , dove  $z_0 = d - w$   $\Rightarrow$   
 $t_{rise10-90\%,slow} \propto (\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2$

- È possibile esprimere il rise time del segnale come:

$$t_{rise}(V) = \begin{cases} t_0 + a(\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2 & \text{for } V < V_d \\ t_0 & \text{for } V > V_d \end{cases}$$

[da Bardelli et al., NIM A 602(2009) 501-505]

- Dal fit sui dati per ogni posizione si ricava  $V_d(x, y)$  e quindi la resistività  $\rho(x, y)$
- Per sondare il rivelatore abbiamo usato due diversi tipi di radiazione:
  - protoni dalla linea di fascio DEFEL dell'acceleratore Tandetron da 3 MV del LaBeC (Firenze);
  - particelle  $\alpha$  da 5.48 MeV (sorgente di  $^{241}\text{Am}$ )



# Mappe di resistività

## Principio base della misura (III)

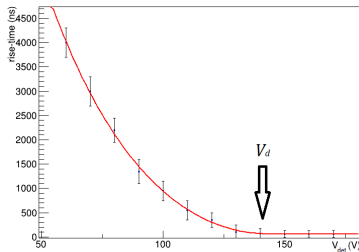
- $t_{rise10-90\%,slow} \propto z_0^2$  per  $V < V_d$ , dove  $z_0 = d - w$   $\Rightarrow$   
 $t_{rise10-90\%,slow} \propto (\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2$

- È possibile esprimere il rise time del segnale come:

$$t_{rise}(V) = \begin{cases} t_0 + a(\sqrt{V_d} - \sqrt{V})^2 & \text{for } V < V_d \\ t_0 & \text{for } V > V_d \end{cases}$$

[da Bardelli et al., NIM A 602(2009) 501-505]

- Dal fit sui dati per ogni posizione si ricava  $V_d(x, y)$  e quindi la resistività  $\rho(x, y)$
- Per sondare il rivelatore abbiamo usato due diversi tipi di radiazione:
  - protoni dalla linea di fascio DEFEL dell'acceleratore Tandetron da 3 MV del LaBeC (Firenze);
  - particelle  $\alpha$  da 5.48 MeV (sorgente di  $^{241}\text{Am}$ )  $\rightarrow$  **COLLIMAZIONE**

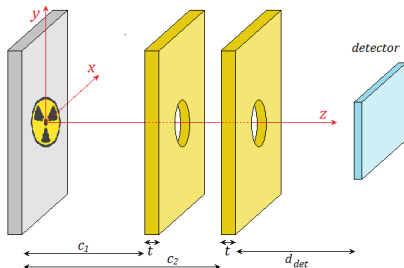


# Mappe di resistività

Simulazione e realizzazione del collimatore

Simulazione in ambiente ROOT:

- garantire un diametro dello spot di  $\alpha$  sul rivelatore di 1 mm;
- non ridurre eccessivamente il numero di particelle trasmesse.



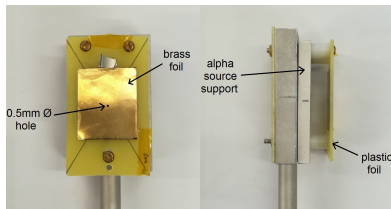
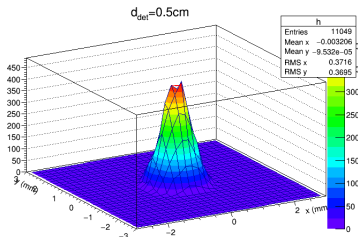
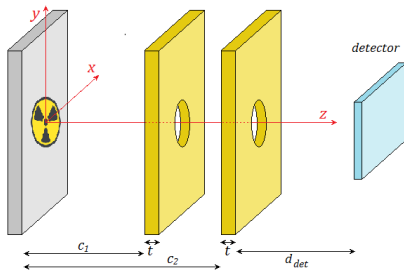
# Mappe di resistività

Simulazione e realizzazione del collimatore

Simulazione in ambiente ROOT:

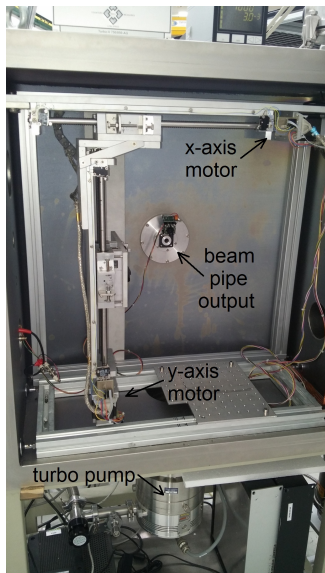
- garantire un diametro dello spot di  $\alpha$  sul rivelatore di 1 mm;
- non ridurre eccessivamente il numero di particelle trasmesse.

Nella configurazione scelta ( $c_1 = 13.0$  mm,  $c_2 = 14.5$  mm,  $r_1 = 1.0$  mm,  $r_2 = 0.5$  mm) otteniamo un counting rate  $\sim 20$  cps.



# Mappe di resistività

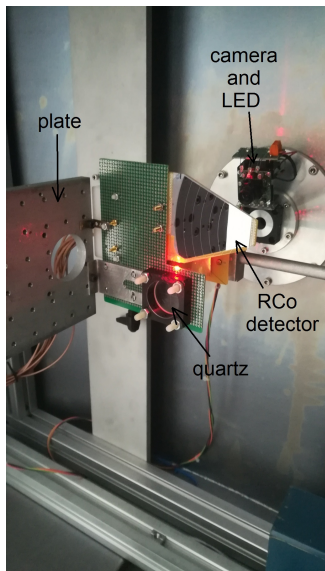
Setup sperimentale e analisi dati



- Setup installato nella camera a vuoto DEFEL: rivelatore su piastra motorizzata controllata in remoto
- Sistema di allineamento laser per:
  - posizioni di riferimento del rivelatore;
  - controllo della perpendicolarità del rivelatore;
  - allineamento della sorgente alpha.
- Per ogni posizione si acquisiscono segnali digitalizzati per un determinato set di tensioni applicate

# Mappe di resistività

Setup sperimentale e analisi dati



- Setup installato nella camera a vuoto DEFEL: rivelatore su piastra motorizzata controllata in remoto
- Sistema di allineamento laser per:
  - posizioni di riferimento del rivelatore;
  - controllo della perpendicolarità del rivelatore;
  - allineamento della sorgente alpha.
- Per ogni posizione si acquisiscono segnali digitalizzati per un determinato set di tensioni applicate
- Segnali analizzati singolarmente:
  - filtro digitale trapezoidale con sottrazione della baseline → ampiezza del segnale;
  - dCFDs (digital Constant Fraction Discriminators) → rise-time 10%-90%